第1章

EMC規格の位置づけとテスト方法

エンジニア必修のノイズに関する基礎知識

吉本 修

ここでは，EMC(electro-magnetic compatibility)に関する規格を整理する．また，それらに関するテスト方法について簡単に紹介する．具体的な対策方法について論ずる前に，知っておきたい基礎知識である．(編集部)

家電機器や自動車，航空機器，携帯電話など，身の回りの至る所でさまざまな電子機器が動作し，私たちの日々の生活を支えています．これらの電子機器は，常に正常に動作していなければなりません．もし誤動作すれば，日常生活に不便を来すだけでなく，インフラへの障害や人命にかかわる事故の要因にもなりかねません．

製品が正常に動作するかを評価すべきことは，機能や構造，製品を構成する材質など，多岐に渡ります．この中で，電磁波の及ぼす影響に関して評価の尺度を定めた分野を，電磁環境適合(EMC：electro-magnetic compatibility)と呼びます．

特に，近年の電子機器は動作周波数の高周波化や動作電圧の低電圧化，部品や基板の小型化が進んでいます．電磁波の影響をより受けやすくなっており，EMCの評価はなくてはならないものです．

図1　EMI測定に用いる主な測定器
測定対象物から漏れ出てくる電磁波を評価するためには，さまざまな測定器が必要．

● EMIとEMSがある

EMCは，機器から漏れ出てくる電磁波を評価するEMI(electro-magnetic interference)と，機器の外来の電磁波に対する耐性を評価するEMS(electro-magnetic susceptibility)に大別されます．

▶ EMI

複数の機器を隣接して使用する場合，機器から漏れ出る電磁波が強いと，隣接する機器に悪影響を及ぼしかねません．これを予防するために，機器から漏れ出る電波の測定法や許容値を取り決めなければなりません．このように，機器から漏れ出てくる電磁波を評価する尺度を，EMIあるいは，エミッション(emission)と呼びます．

例えば図1のように，放射源(測定対象の製品)から漏れ出る電磁波をアンテナやプローブなどを用いて電気成分として検出します．このスペクトルをEMIテスト・レシーバやスペクトラム・アナライザで観測し，機器から漏れ出る電磁波の強さが規定の範囲内であるかを測定します．

▶ EMS

機器を取り巻く電磁波にはいろいろあります．放送や通

KeyWord
EMI，electro-magnetic interference，EMS，electro-magnetic susceptibility，IEC，CISPR，VCCI，FCC，CNCA，GOSTANDARD

信の電波，雷，静電気，AC電源などの影響があっても，機器は正常に動作しなければなりません．また，隣接する機器から漏れ出た電磁波に対しても十分な耐性を持つことを考えなければなりません．このように，機器の外来の電磁波に対する耐性を評価する尺度をEMS，あるいはイミュニティ（immunity）と呼びます．

評価方法の例を図2に示します．正常動作中の機器を常に観察した状態にて，機器の電源や信号線に電磁波を重畳させるなどの妨害を与え，その機器が規定の妨害に耐えられるかを測定します．アンテナや，静電ガン，結合・減結合回路網（CDN ： coupling decoupling network）を用いて，電磁界や高電圧インパルスなどを与えます．

1. EMC関連の規格の位置づけ

● IEC規格とEMC

IEC（International Electrotechnical Commission；国際電気標準会議）は，1906年に電気技術に関するすべての分野の国際規格・標準を作る機関として発足しました．ISO（International Organization for Standardization；国際標準化機構）やITU（International Telecommunication Union；国際電気通信連合）などのほかの国際機関と標準化の協力をしつつ，各国・各地域の意見をまとめ，国際電気標準規格としてのIEC規格を制定しています．IECのTC（Technical Committee）77とCISPR（International Special Committee on Radio Interference：国際無線障害特別委員会）は，EMC関係の国際規格を協力しながら作成しています．TC77は，主に低周波（9kHz以下）のEMIとEMS，および高周波（9kHz以上）のEMSに対する規格を作成しています．CISPRは高周波（9kHz以上）のEMIに対する規格を作成しています．IECのEMSに対する規格はIEC 61000シリーズと呼ばれ，表1のように大別されます．

図2 EMS測定の主な種別と測定器
動作している被測定物にさまざまな電磁的ストレスを与え，ストレスの内容と動作状況を把握する．

● CISPR規格とEMC

CISPRは，1934年に各種機器からの不要電波に関し測定法と許容値を国際的に合意することにより貿易を推進することを目的として設立されました．現在はIECの特別委員会です．ITU-R（International Telecommunication Union-Radio Communication Sector；国際電気通信連合の無線通信部門）や，ICAO（International Civil Aviation Organization；国際民間航空機関）の要請に応じて研究を行うなど，ほかの国際機関との密接な協力関係にあります．現在は表2に示す規格が発行されています．これらは各国の規格に参照され運用されています．

表1 IEC 61000シリーズ規格の種類

番　号	主な内容	種　類
IEC 61000-1-X	基本的な用語	3
IEC 61000-2-X	一般的電気供給系に関する取り扱いと説明	12
IEC 61000-3-X	入力電源系統関係の高調波EMIなど	12
IEC 61000-4-X	電源関係，無線周波電磁界，装置に関するEMSなど	32
IEC 61000-5-X	設置法と対処法に関するガイドラインなど	7
IEC 61000-6-X	装置の設置環境（電磁環境の分類）	4

表2 CISPRの規格の概要

規　格	主な内容
CISPR10	CISPRの組織，規則，手続き
CISPR11	産業，科学及び医療用機器の電磁妨害の許容値と測定法
CISPR12	自動車，内燃機関の無線妨害特性の許容値と測定法
CISPR13	テレビ，ラジオの無線妨害特性の許容値及び測定法
CISPR14-x	家庭用機器，電動工具の電磁両立性
CISPR15	電気照明の無線妨害特性の許容値と測定法
CISPR16-x	無線妨害波測定器及び測定法
CISPR17	受動的無線妨害波フィルタ測定法
CISPR18-x	架空送電線・高電圧装置の無線妨害特性
CISPR19	1GHz以上の電子レンジ測定法の指針
CISPR20	テレビ，ラジオのイミュニティ特性の許容値及び測定法
CISPR21	インパルス・ノイズ下での移動無線に対する妨害
CISPR22	情報処理装置の無線妨害特性の許容値及び測定法
CISPR23	産業，科学及び医療用機器の許容値と測定法
CISPR24	情報処理装置のイミュニティ特性の許容値及び測定法
CISPR25	車載受信機保護のための妨害波の限度値と測定法

● EMC規格の枠組み

EMCは従来，主にラジオやテレビの放送に対する規制としての評価や対策が行われてきました．その後，交通機器や工作機械，情報処理装置，医療機器へとEMC問題の検討範囲が広がっていきました．現在はIECおよび，IECの特別委員会であるCISPRにより以下のように規格が体系付けられています．

1）基本規格（Basic Standards）

基本規格は，すべての規格の基本となるものです．

- 電磁環境の分類（住宅環境，商業環境，軽工業・工業環境，特殊環境）
- 電磁放射レベル，電磁耐性レベル
- 測定技術

などについて規定されています．

2）共通規格（Generic Standards）

共通規格は，既存の規格などで規定されていない製品も対応できるよう，共通の電磁放射レベルや電磁耐性レベルの基準を定めています（例：IEC 61000-6シリーズ）．

3）製品群規格（Product Family Standards）

製品群規格は，テレビやラジオ，情報機器などの製品群ごとにまとめられた規格です（例えば，CISPR20はテレビ，ラジオのイミュニティ特性の許容値および測定法を定める）．

4）製品規格（Product Standards）

製品規格は，個別の製品に限定しており，製品特有の測定方法や許容値を規定します．規格の種類は無数にあります．

2. 各国のEMC規格

● 日本の規格

日本国内のEMCについては，省庁や工業会が，より直接的な規制やガイドラインを作成しています．分野，品目に応じてそれらの法律や規制を把握する必要があります．

- 電気用品，無線設備 EMI：電気用品安全法（経済産業省），電波法（総務省）による法規制
- 情報処理装置 EMI：情報処理装置等電波障害自主規制協議会（VCCI：Voluntary Control Council for Information Technology Equipment）による自主規制
- EMS：医用機器などの特定分野を除き強制規格がなく，各工業会の自主規制

また，製品群規格および製品規格については，JIS（日本工業規格）化あるいは独立したEMC規格として検討するとしています．

● 欧州の規格

EU（European Union）委員会では，機械，医療機器など，製品の種類別にEU内各国の製品安全に関する各指令が出されています．今までは（89/336/EEC）というEMC指令が適用されてきました．2004年12月31日に，これの改定などをまとめ，新EMC指令（2004/108/EC）を発行しました．適用開始は2007年7月20日からで，強制適用開始は2009年7月20日からの予定となっています．

今までのEMC指令（89/336/EEC）の適合製品は，2009年7月20日までは市場への流通が可能です．それ以降は，新EMC指令（2004/108/EC）に従った製品でなくてはなりません．

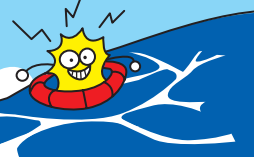
指令の対象となる機器の例としては，

電気通信端末，家庭用電気機器，電動工具，アマチュア無線機（市販品），テレビ，ラジオ，海洋無線通信機，蛍光発光体（スタータ付き），産業機器，遠隔通信装置，情報技術装置，教育用電子機器，蛍光灯，電球

などが挙げられます．欧州のEMC規格はIEC/CISPR規格を基に，欧州規格（EN規格）として発行されています．規格番号には，図3のような関係があります．製品の使用環境におけるEMCの規格は表3のように，テスト方法についての規格は表4のようにそれぞれ発行されています．

● 米国の規格

連邦通信委員会（FCC：Federal Communications Commission）が，電気通信関連の規則や規定を公布しています．EMCについては，連邦法令集（CFR：code of federal regulations）の通信に関する第47編（47CFR）にて定めら

図3[5] 欧州EN規格の番号について

れています．主に情報処理装置や放送受信機やコードレス電話など，さまざまな高周波利用機器のEMIに関する「Part 15-Radio Frequency Devices」（**表5**），工業・科学・医療機器に関する「Part 18-Industrial, Scientific and Medical Equipment」にて扱われています．

FCCの認可手順としては，3通りの方法があります．

- 製造者が独自に，製品が該当する技術基準に従っているかを確認する「検証（verification）」
- 責任者が指定された試験所にて製品の測定を行い，該当する技術基準に適合していれば米国内に製品を出荷できる「自己適合宣言（DoC：declaration of conformity）」
- FCCの代行で認可できる 適合性評価機関（TCB：telecommunications certification bodies）により行われる「認証（Certification）」

機種によりどれを用いるかが決められています．

FCCのこれらの規定には，主に米国規格協会（ANSI：American National Standards Institute）の規格が用いられています．代表的なものは ANSI C63.4（無線周波数範囲9kHz～40GHzにおける低圧電気および電子装置からの無線雑音妨害波の測定法）があります．また，このANSI規格にはCISPRなどの国際規格が反映されています．

● 中国の規格

国家認証認可監督管理委員会（CNCA：Certification and Accreditation Administration of the People's Republic of China）は，CCC（China Compulsory Certification；中国製品安全強制認証制度）マークを中国の統一強制認証マークとして導入を決めました．2002年5月1日から施行しています．

規制対象製品にはCCCマークの使用が義務付けられ，CCC認証のないものは中国への輸出入および中国国内での販売ができません．EMCの規制は，EMC認証センタ（CEMC：China Certification Center for Electromagnetic Compatibility）が取り扱っています．

規格はGB規格（強制規格）または，GB/T規格（任意規格）として，国家標準化管理委員会（Standardization Administration of the People's Republic of China）によって制定されています．GB規格は大部分がIEC/CISPR規格に準拠しており，**表6**はその一例です．

EMC関係のテストを行えるのは，現時点（2007年7月）ではCNCAが認定している試験所だけとなっています．また，ラベルが入手できるのはCNCA1ヵ所だけです．認可を得た製品にしか使用できないようラベルにシリアル番号が入っています．ラベルは，中国国内生産品については出

表3　欧州EN規格の分類（使用環境）

工業環境	共通EMS規格	EN 61000-6-2
	共通EMI規格	EN 61000-6-4
住宅，商業，軽工業環境	共通EMS規格	EN 61000-6-1
	共通EMI規格	EN 61000-6-3

表4　欧州EN規格・テスト方法に関する規格

試験方法に関する規格		
EMI	伝導	EN 55011 EN 55022など
	放射	EN 61000-6-3あるいは EN 61000-6-4
EMS	静電気放電	EN 61000-4-2
	放射	EN 61000-4-3
	伝導	EN 61000-4-6
	高速過渡現象バースト	EN 61000-4-4
	サージ	EN 61000-4-5
	電源周波数電磁界	EN 61000-4-8
	電圧ディップ，停電，変動	EN 61000-4-11
注；製品の構造もしくは使用環境によっては適用出来ないものもある．		

表5　米国FCC規格（part 15）の各サブ・パートの内容

サブ・パート	種　別	備　考
A	通則	–
B	非意図的放射器	受信機やディジタル機器など，意図せずに電波が出てしまう機器
C	意図的放射器	コードレス電話など，意図的に電波を放射する機器
D	パーソナル無線機（免許不要）	–
E	情報インフラ機器（免許不要）	–

表6[12]　中国EMC規格

規格番号	名　称	対応CISPR規格
GB 4824-2004	ISM関係のエミッション	IDT CISPR 11:2003
GB 14023-2000	自動車，ボート関係	IDT CISPR 12:1997
GB 13837-2003	音声及びテレビ受信機	MOD CISPR 13:2001
GB 4343.1-2003	家庭用電気機器，電動工具類	IDT CISPR 14-1:2000
GB/T 6113.2-1998	放射妨害測定器及び測定法	EQV CISPR 16-2:1996
GB/T 16607-1996	電子レンジからの1GHz以上の放射	EQV CISPR 19:1983
GB/T 9383-1999	音声，テレビ放送受信機イミュニティ	EQV CISPR 20:1998
GB 9254-1998	情報処理装置のエミッション	IDT CISPR 22:1997
IEC/CISPRとの準拠のレベルについて IDT　：IEC/CISPR規格と同一 EQV　：IEC/CISPR規格と同等 MOD：IEC/CISPR規格と同等 NEQ　：IEC/CISPR規格と不整合		

荷前に，中国の輸入については輸入前に表示しなければなりません．

● インドの規格

インドには，IS（Indian Standards）規格があり，国際規格に整合しているものもあります．BIS（Bureau of Indian Standards）による監視がありますが，制度は自己認証ベースで運用されています．製造者は，規格に適合することが確認できれば，ISIマークを製品に表示できます．

製品安全としての電気関係の強制規格には，アイロン，電気ラジエータ，電気ストーブ，スイッチ，電球，ブレーカ，ケーブル，電力計などがありますが，EMCについては任意です．

● ロシアの規格

ロシアでは，GOSTANDARD（ロシア語の略称．英語では， Federal Agency on Technical Regulating and Metrology）が，法律だけでなく標準化や認証，認定を担当しています．オーディオ機器，テレビ，ビデオ，ACアダプタ，UPS，事務機器，家庭用電気機器，バッテリ，通信機器などが主な規制品目です．

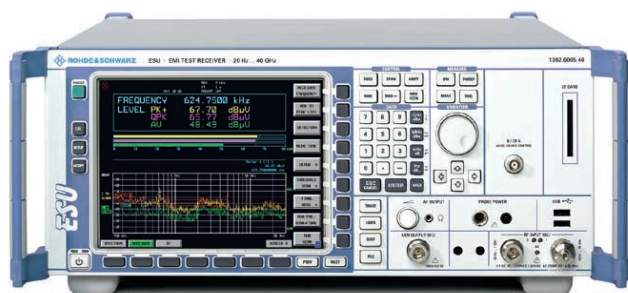



写真1　EMIテスト・レシーバ（スペクトラム・アナライザ内蔵型）の例

3. EMIテストの内容と測定器

機器から漏れ出た電磁波は，意図せずに放射されたものです．つまり，その周波数帯域や放射の形状は未知のものです．これを評価する受信機は，広い周波数レンジかつ広い振幅の信号をひずみなく受信し，その結果を正確に測定できなければなりません．また，パルス性の電磁妨害波のように電圧値が高くても妨害エネルギーとしてはさほど大きくないものについては，実際の妨害効果と測定値が相関を持てるよう，測定器の検波特性が詳細に規定されています．

このように，妨害波を評価する受信機を規定する規格に，CISPR16-1-1があります．基本的に民生品のEMI測定規格は，このCISPR16-1-1にて規定された性能を満足する受信機を使用することが前提です．この規格を満足するEMIテスト・レシーバ（妨害波測定器），あるいはスペクトラム・アナライザが測定に利用されます．これらの測定器は現在，**写真1**のように必要な機能が一つのきょう体に収められているタイプが主流です．内部構成を**図4**に示します．

EMIテスト・レシーバは，周波数同調型の高周波電圧計の一種です．同調された周波数において，規定の時間分の検波された指示値を得られます．CISPR16-1-1などの規格には，IF（intermediate frequency：中間周波数）の帯域幅，検波器の充放電やメータの各時定数，入力の帯域制限フィルタ（プリセレクタ），入力インピーダンス，正弦波電圧測定確度などが規定されています．これを満足した性能を持つ妨害波測定器が認証テストに用いられます．廉価版の妨害波測定器やスペクトラム・アナライザは，ほとんどの場合，この規定のすべてを満足している訳ではありません．設計時のノイズ対策や認証テスト前の予備テストなどに用いられます．

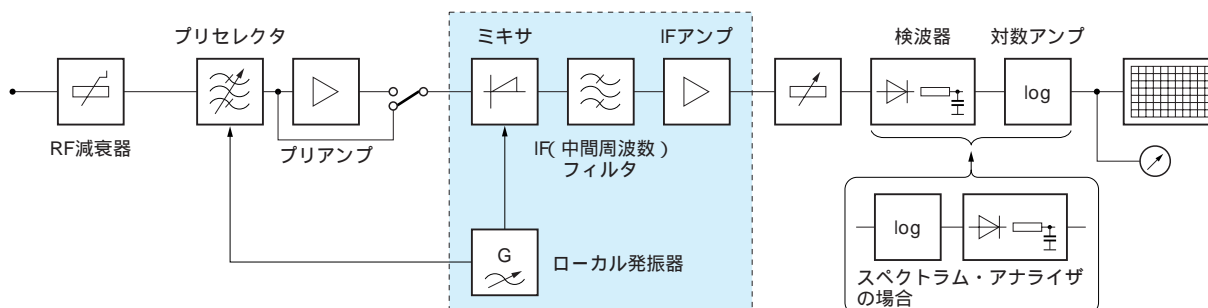
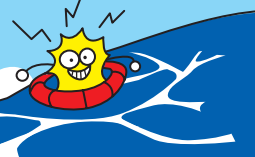



図4　EMIテスト・レシーバ（スペクトラム・アナライザ）の内部構成

● 伝導妨害波電圧測定

伝導妨害波電圧測定では，機器から漏れ出るノイズのうち，AC電源や電話線の経路を流れるノイズを測定します．低い周波数(主に30MHz以下)では波長が長くなります．これにより，機器の外形は波長に対して小さくなるため，ノイズは機器に接続されている線路を伝わっていきます．また浮遊容量などにより周囲の構造物にもノイズが伝わります．

機器に接続されているAC100Vや200Vなどの商用電源を伝わっていくノイズを測定する場合は，そのままレシーバやスペクトラム・アナライザのRF入力を使って評価できません．伝導妨害波電圧の測定器はもともと，微弱信号を測定するために作られたものなので，高電圧の入力は機器を破損してしまいます．

そこで，電源線を伝わるノイズ成分だけを取り出し，レシーバやスペクトラム・アナライザでノイズ成分だけを測定できる疑似電源回路網[注1]があります(**写真2**)．**図5**のように疑似電源を介して得られたノイズを測定し，**表7**のような各種規格の限度値に照らし合わせ，製品の合否を判断します．

同じように，電話線やEthernet回線のノイズ成分だけを取り出し，レシーバやスペクトラム・アナライザにて測定できるインピーダンス安定回路網(ISN：impedance stabilization network)があります(**写真3**)．

注1　主に国際規格では疑似電源回路網(AMN：artificial mains network)と呼ぶ．電源線インピーダンス安定回路網(LISN：line impedance stabilization network)と呼ばれることもある．

● 伝導妨害波電力測定

30MHz以上といった高い周波数になると，電源ケーブルや信号ケーブルなどをアンテナとして，ノイズが空間に放射されてしまいます．このようにノイズの測定には放射された電磁波を，吸収クランプ(**写真4**)にて取り込みながら，半波長程度移動させてその出力の最大値をレシーバやスペクトラム・アナライザにて測定します．**写真5**と**図6**は実際の使用例です．

● 放射妨害波測定(放射磁界強度測定)

放射妨害波とは，機器から漏れ出た電磁波のうち，空間

表7　交流電源端子ノイズ電圧限度値(CISPR, VCCI, FCC)

周波数 [MHz]	Class A (工業環境で使用される機器)	
	準尖頭値[dBμV]	平均値[dBμV]
0.15～0.50	79	66
0.50～30	73	60
●周波数の境界では値の低いほうの限度値を使用		

(a) Class A

周波数 [MHz]	Class B (一般家庭及び軽工業環境で使用される機器)	
	準尖頭値[dBμV]	平均値[dBμV]
0.15～0.50	66～56	56～46
0.50～5	56	46
5～30	60	50
●周波数の境界では値の低いほうの限度値を使用 ●0.15MHz～0.50MHzの周波数レンジの限度値は，周波数の対数に直線的に減少		

(b) Class B

写真2　疑似電源回路網の例

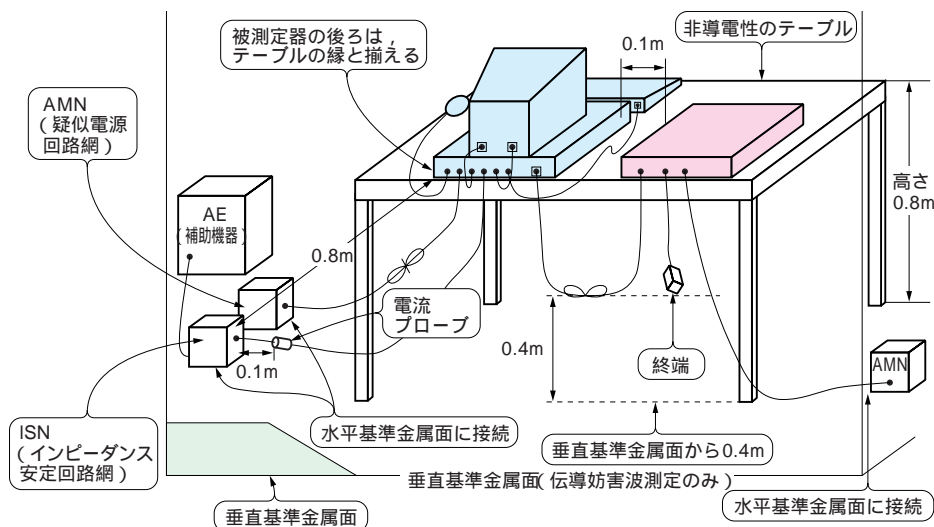



図5[14]　伝導妨害波電圧測定の例

を伝わるもののことです．30MHzを境に，測定方法が分かれます．

▶ 9kHz～30MHz

周波数30MHz以下における放射妨害波の測定は，図7のような野外の測定環境において行います．被測定機器を回転台の上に乗せ，規定の距離離れた位置に写真6のようなループ・アンテナを置きます．機器とアンテナを回転しながら最大受信電圧を妨害波測定器により測定します．

蛍光灯などは，図8のようなループ・アンテナの内部に被測定器を置いて，測定します．この大型ループ・アンテナでは，すべての偏波成分を測定できますが，図7のように遠方にループ・アンテナを置く方法では，水平成分の磁界しか測定できません．

▶ 30MHz～

主に30MHz以上における放射妨害波の測定は，図9のように行います．被測定器を回転台の上に乗せて回転させます．規定の距離（d＝3m，10m，30m）離れた位置の測定アンテナ（写真7）を，地上高1m～4m（d＝30mのときは2m～6m）にて上下させ，受信電圧を妨害波測定器にて測定します．野外を利用する際に，都市部など外来の電磁波が測定に影響を及ぼす場合は，電波無響室内にて測定します．

表8のような各種規格の限度値に照らし合わせ，製品の

写真3　インピーダンス安定回路網の接続例

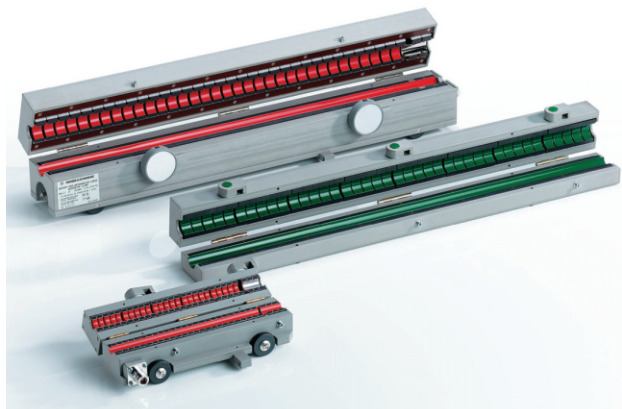



写真4　吸収クランプの例

写真5[15]　吸収クランプを走行台上で移動し，放射ノイズの周波数，レベル，放射位置を測定

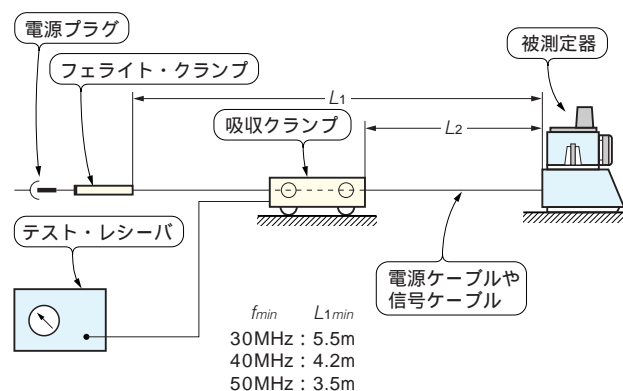



図6　伝導妨害波電力測定用吸収クランプの使用例

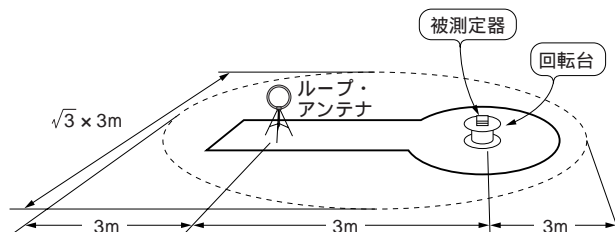
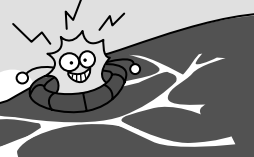



図7　磁界放射測定サイトの例

写真6
磁界測定用ループ・アンテナの例

合否の判断を行います．測定周波数が高くなると測定系の損失が大きくなる(**図10**)ので，前置増幅器(プリアンプ)を用いて信号を増幅し，測定系のノイズに受信ノイズが埋もれないようにします．

● 電源高調波測定

AC電源は50Hzまたは60Hzの周波数にて送電されています．しかし，この供給を受ける電子機器は，電源部にてこの高調波成分を発生させ，AC電力系統に波及させてしまうことがあります．これら不要な高調波成分を測定して，評価する必要があります．また，50Hzまたは60Hzの基本波の整数倍以外に，次数間の高調波も評価します(**図11**)．

● フリッカ測定

電灯の明るさが電源線の電圧変動によってちらつくことがあります．この輝度変動の視覚的な印象をフリッカ(flicker)と呼び，このフリッカを発生させる電源電圧変動を電源フリッカと呼びます．

フリッカは人の視覚的な印象によるものです．ちらつきの変動周波数が高くなってくると，視覚が追従できなくなり，フリッカと感じなくなります．この周波数を，フリッカ検知上限周波数(critical flicker frequency)，あるいは融合周波数(fusion frequency)と呼びます．フリッカの測定法と許容値は，IEC 61000-3-3に定められています．

フリッカの測定器は，視覚的にフリッカを最も感じやす

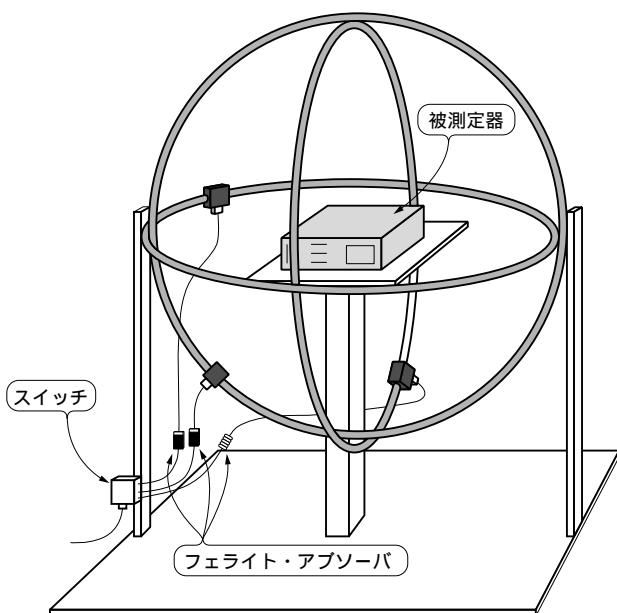



図8　磁界測定用ループ・アンテナの使用例
すべての偏波成分を測定できる．

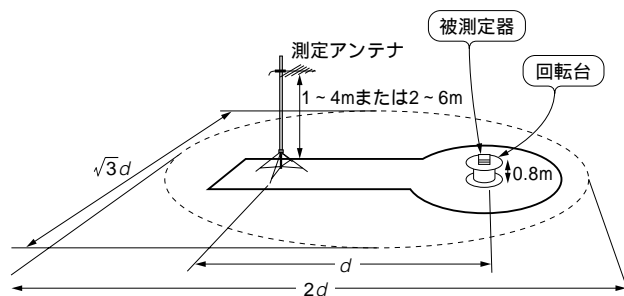



図9　放射電界強度の試験例
外来の電磁波が測定に影響を及ぼす場合は，電波無響室内にて測定する．

表8　放射電界強度限度値

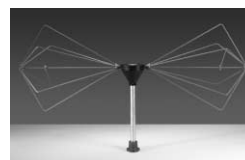
周波数[MHz]	Class A (工業環境で使用される機器)		Class B (一般家庭及び軽工業環境で使用される機器)	
	準尖頭値[dBμV/m]		準尖頭値[dBμV/m]	
	3m	10m	3m	10m
30～230	50	40	40	30
230～1000	57	47	47	37

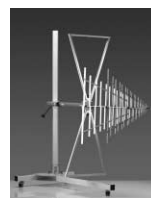
●周波数の境界では値の低いほうの限度値を使用

(**a**) CISPR, VCCI

周波数[MHz]	Class A (工業環境で使用される機器)		Class B (一般家庭及び軽工業環境で使用される機器)	
	準尖頭値[μV/m]		準尖頭値[μV/m]	
	3m	10m	3m	10m
30～88	-	90(39.0)	100(40.0)	-
88～216	-	150(43.5)	150(43.5)	-
216～960	-	210(46.5)	200(46.0)	-
960～	-	300(49.5)	500(54.0)	-

●周波数の境界では値の低いほうの限度値を使用
●括弧内は，dBμV/m換算値

(**b**) FCC

(**a**) バイコニカル・アンテナ 20MHz～300MHz

(**b**) ログペリオディック・アンテナ 200MHz～1300MHz

(**c**) ウルトラログ・アンテナ 30MHz～3000MHz

(**d**) ホーン・アンテナ 1GHz～18GHz

写真7　測定アンテナの一例

い周波数である約8.8Hzを考慮して作られています．電圧変動値が同じであれば，変動周波数が8.8Hzのときに，この測定器の指示値は最大となります．

4. EMSのテスト内容と測定器

ここまでは，機器から漏れ出てくる電磁波を測定する方法について述べました．ここからは，機器が，どれだけ外来の電磁波に対する耐性を持っているかを評価する方法について説明します．

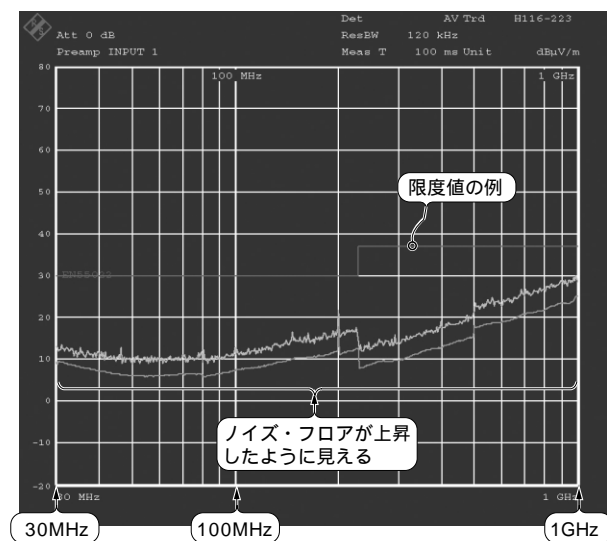



図10　放射電界強度測定の限度値とノイズ・フロア

妨害波測定器の画面にて，アンテナ系の損失分を加算して表示しているため，ノイズ・フロア（測定のバックグラウンド・ノイズ）が上昇したように見える．

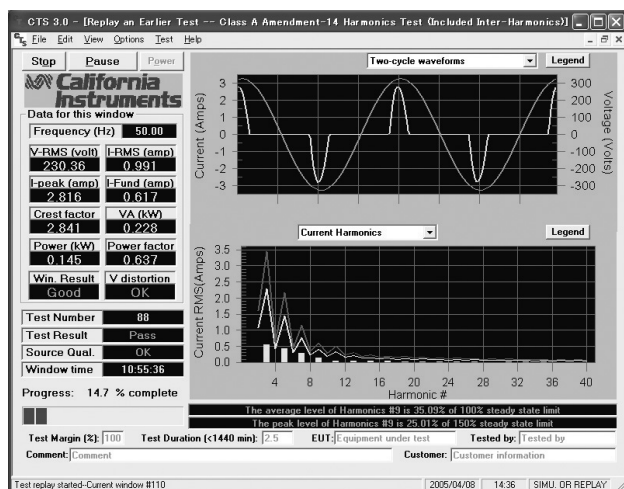



図11(16)　電源高調波・フリッカ測定システムの画面例

● 放射電磁界イミュニティ・テスト

レーダや放送局，あるいは携帯電話の基地局の周囲など，電界が強い場所にあっても，機器は正常に動作しなければなりません．そこで，実際にアンテナから規定の電界強度の電磁波を放射し，被測定器に照射します．そして周波数を動かしながら被測定器を観測し，動作に支障がみられる条件を探します．

図12のように，電波暗室内に被測定器を動作状態にて設置し，規定の距離だけ離れた位置にアンテナから電磁波を照射します．この電磁波は，別室（シールド室）にて信号発生器により生成し，パワー・アンプにて増幅されたものです．この電磁波は無変調波だけでなく，AM（amplitude modulation；振幅変調）やパルス変調信号を用います．

このテスト法は，IEC 61000-4-3にて規格化されています（**表9**）．また，被測定器に照射する電界は，できるだけ均一な面でなければなりません．測定前にこの電界特性（電界均一性）を調査する必要があります（**図13**）．

● 伝導性高周波イミュニティ・テスト

伝導性高周波イミュニティ・テストは，上述の放射電磁界イミュニティ・テストと同じ目的で，強い電波の送信源の近くにあっても，製品が正常動作するかを評価するテストです．評価したい周波数が低い範囲（150kHz～80MHz）の場合，アンテナによる電磁界放射では効率がよくありま

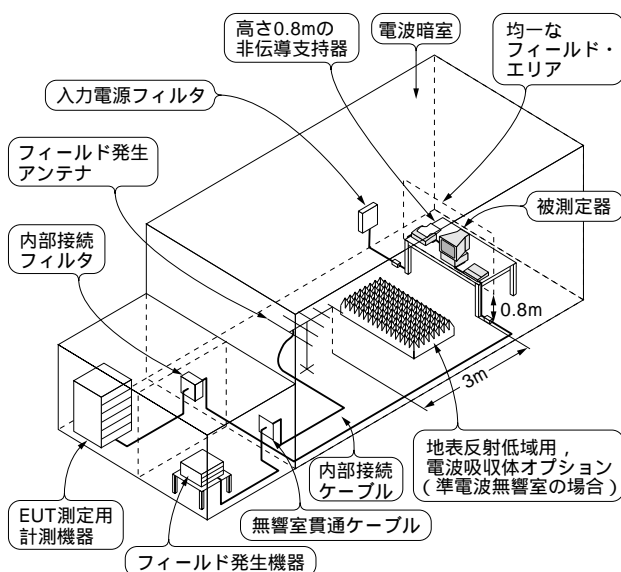
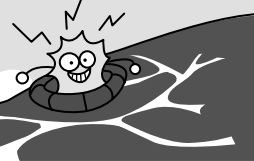



図12　放射電磁界イミュニティ・テスト

信号発生器にて生成された電磁波は，パワー・アンプで増幅され，アンテナから妨害波として放射される．この妨害波を受けた製品の動作状況を確認する．

せん．製品の電源ケーブルや各種信号線ケーブルに直接，この周波数の電磁波を注入して，遠方から到来した周波数の低い電磁波が製品内部に入り込むことを評価します．

この妨害としての無線周波数信号を注入する機器を，CDN（coupling decoupling network；結合減結合回路網）と呼びます．CDNは電源ラインや各種信号線ケーブルの間に接続し，これに評価する周波数の信号を注入します．このテスト法は，IEC 61000-4-6にて規格化されています（**表10**）．

テスト・セットアップの例を**図14**に示します．インターフェース・ラインが複数本ある製品を評価する場合は，その各ラインごとにCDNを使用しなければなりません．多しんの非シールド線へ妨害波を注入するには，EMクランプを利用できます．CDNはインターフェースの種類に合わせたものを使用します．

表9[19]　IEC 61000-4-3試験の条件と試験電界強度

レベル	試験電界強度［V/m］
1	1
2	3
3	10
4	30
X	特別
Xにおいて，電界強度はあらゆる値を想定，レベルは機器仕様により与えられる．	

（**a**）試験レベル

周波数	80M～1000（～6000）MHz
周波数ステップ	前の周波数の1%以下
変調	AM80%, 1kHz（医療器は2Hz）パルス変調
偏波	水平，垂直

（**b**）試験条件

表10[19]　IEC 61000-4-6試験の条件と試験電界強度

レベル	試験電圧レベル emf［V］
1	1
2	3
3	10
Xにおいて，電界強度はあらゆる値を想定．レベルは機器仕様により与えられる．	

（**a**）試験レベル

周波数	0.15M～80MHz
周波数ステップ	前の周波数の1%以下
変調	AM80%，1kHz（医療器は2Hz）

（**b**）試験条件

● ファースト・トランジェント・バースト・テスト

電気・電子機器の一般的な使用環境においては，単独で動作しておらず，複数台の電子機器や，各種設備との複合利用による動作状態といえます．このような環境において，電源ケーブルや信号ケーブルから，到来が予想される高速過渡現象やバースト・ノイズ（**図15**）を電源線や信号線に印加し，テストします．疑似的なバースト・ノイズの生成には，CDNを利用します．これは，IEC 61000-4-4にて規格化されています．

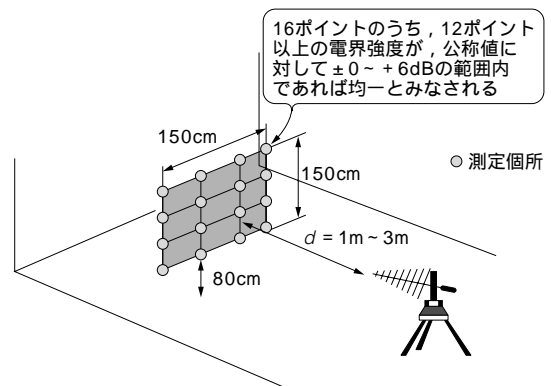



図13　測定に必要な均一電界面の測定
被測定器に照射する電界はできるだけ均一な面でなければならない．

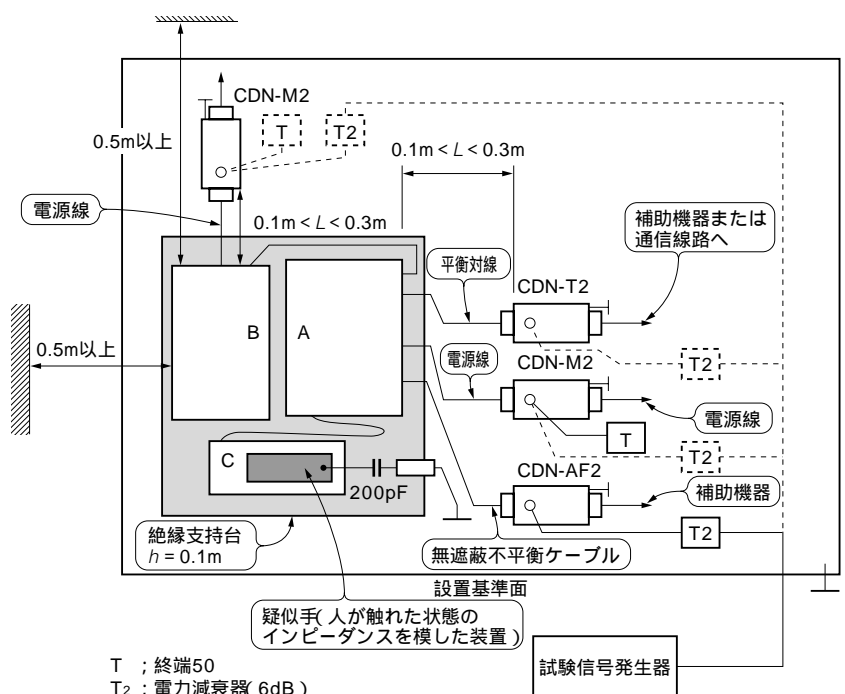



図14[19]　IEC 61000-4-6 複数ユニットのテスト・セットアップ例

● **サージ・テスト**

サージ・テストは雷が送電線に落雷し，製品へ高電圧ノイズが到来した際の製品の耐性を評価します．雷の直撃における評価ではありません．数kVの高電圧パルスを電源ラインに直接加えます．このテスト法は，IEC 61000-4-5にて規格化されています．

● **静電気放電テスト**

冬の乾燥した日にドアのノブに触ると，静電気により痛い思いをすることがあります．これは人がじゅうたんの上を歩いたときなどに帯電した静電気が，ドア・ノブなどの金属から流れるためです．これがドア・ノブなら，ドアが壊れる心配はほとんどありません．しかし，パソコンなどの電子機器にとってはこの静電気は大敵です．このため，静電気に対する，電子機器の耐性も評価されなくてはなりません．静電気放電テストは，IEC 61000-4-2にて規格化されています．

静電気からの耐性を測定する際は，**写真8**のような静電気試験器を用意します．静電気の特性を模したインパルス状の高電圧を発生し，被測定器に加えます．この際の接触放電の仕様を**図16**に示します．

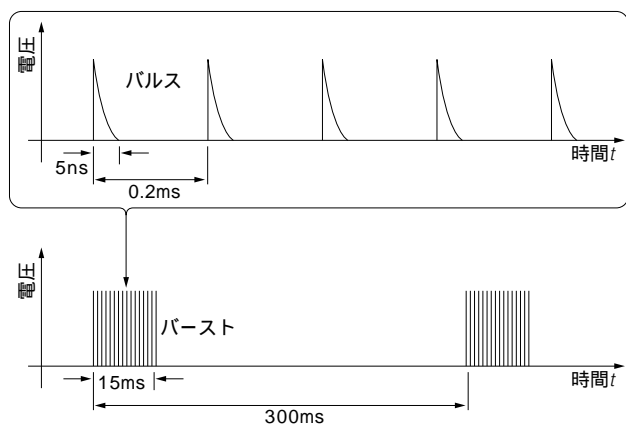



図15　ファースト・トランジェント・バースト・テストの波形
外部機器の電源ON/OFFなどにより生成されるノイズ．

写真8[21]
静電気試験器の外観

放電の方法には，次のようなものがあります．

▶ **直接放電**

直接放電は，静電気テスト器を直接，被測定器表面に接触させて放電し，この放電電流による障害を調べます．

▶ **間接放電**

間接放電は，被測定器の周囲のある面に位置させた金属板に放電し，これにより発生するパルス状の電磁波によって発生する障害を調べます(**図17**)．水平に位置した金属板は水平結合板(HCP：horizontal coupling plane)と呼び，テスト机の表面の部分です．この上に絶縁シートを敷き，さらにその上に被測定器を配置します．放電点は，被測定器から10cm離れた個所です．垂直に位置した金属板は垂直結合板(VCP：vertical coupling plane)と呼び，0.5m×0.5mの金属の板です．これを被測定器から10cm離れた位置に垂直に立て，この板に直接放電します．これを被測定器の四方において行います．

▶ **気中放電**

気中放電は，静電気試験器を被測定器から離して放電し，この放電電流による障害を調べます．これらの放電テストに用いられる，テスト・レベルと電圧を**表11**に示します．

● **瞬断・電圧ディップ・テスト**

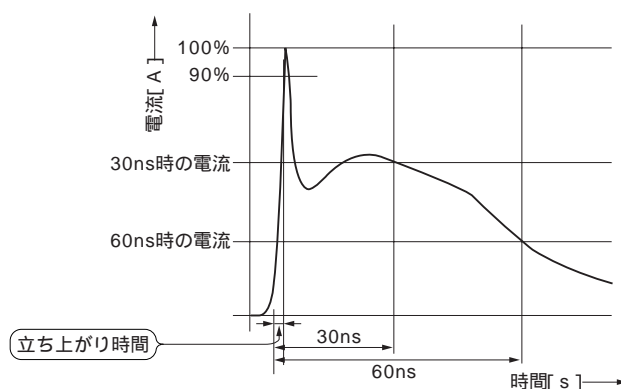
瞬断・電圧ディップ・テストは被測定器において，AC電源からの供給電圧が短時間にわたって低下したり停電が

レベル	指定電圧[kV]	放電初期ピーク電流[A]	立ち上がり時間[ns]	30ns後の電流[A]	60ns後の電流[A]
1	2	7.5	0.7～1	4	2
2	4	15	0.7～1	8	4
3	6	22.5	0.7～1	12	6
4	8	30	0.7～1	16	8

図16[19]　IEC 61000-4-2 接触放電の仕様

発生したりした場合(**図18**)を想定したテストです．電源周波数の0.5周期から5s(秒)までの電圧低下や停電による影響を確認します．IEC 61000-4-11にて規格化されています．

5. 機種専用のテスト

ここでは，製品のEMCテスト項目の例を示します．製品の種類や出荷先の国により規制は異なります．製品が多機能になれば，それだけテスト項目が増えることもあります．今回はEMC関連の例なので，製品のテストにおいてはもちろん，これ以外にもさまざまな安全テストが必要になります．

● 携帯電話のEMIとEMS

欧州向けの携帯電話(3GPPやGSMなど)は，欧州電気通信標準化機構(ETSI：European Telecommunications Standards Institute)により技術仕様が発行されています．ETSIは，1988年に欧州郵便電気通信主管庁会議(CEPT)により，通信，放送，情報技術関連の規格を開発・制定するために設立されました．

ETSI規格のうち，無線通信機器のEMCを評価するものに，ETSI 301 489 -xシリーズがあります．対象機種は約30種で，例を挙げると次のものがあります．

- ETSI 301 489 part 7：GSMおよびDCS携帯電話
- ETSI 301 489 part 17：HiperLAN機器
- ETSI 301 489 part 24：IMT-2000 CDMA 携帯電話

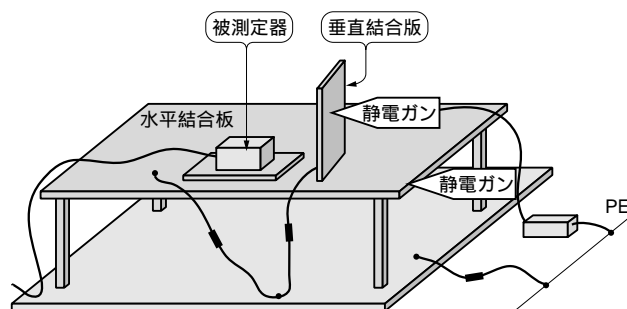



図17 静電気放電テストにおける間接放電の例
水平結合板あるいは垂直結合板に静電ガンを接触させて放電する．

表11 静電気の放電方法によるテスト電圧の違い

レベル	空中放電	接触放電
1	2kV	2kV
2	4kV	4kV
3	8kV	6kV
4	15kV	8kV

携帯電話のテストの際には，端末を通話状態にするための疑似基地局が必要となります．**写真9**の製品はその一例で，無線機テスタとも呼ばれます．近年の無線機テスタは1台で世界中の携帯電話方式の基地局を模擬できます．デュアルモード端末の開発には必須の機材です．

▶ EMI規格

ETSI 301 489 -xにおいて，EMIに関する測定には次の規格があります．

- EN 50081-1：共通エミッション規格
- EN 55022：情報処理装置の無線妨害特性の許容値および測定法

この測定の際の主なセットアップは，**図19**に示すように，携帯電話を電波暗室内に設置します．無線機テスタに接続されている通信用アンテナにて，携帯電話と疑似基地局である無線機テスタとの通信を確立した状態にします．**図20**の特性を持つフィルタ・ユニットを介して，EMIレシーバに接続された測定用アンテナ(ログペリオディック・アンテナ，ホーン・アンテナなど)にて放射を測定します．

例えば3GHz以上などの放射測定時に，周波数が高く測定系のロスが大きい場合には，**図19(b)**の様にEMIレシーバを電波暗室内に持ち込み，アンテナとのケーブル長を短くして測定することもあります．

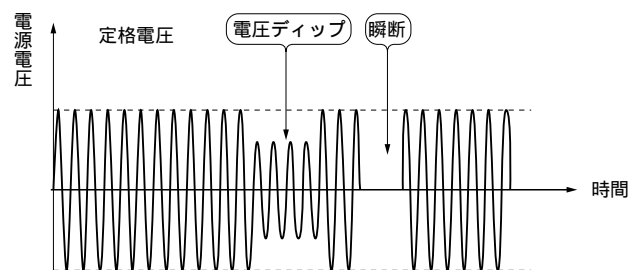



図18 AC電源における，電圧ディップ・瞬断の波形例

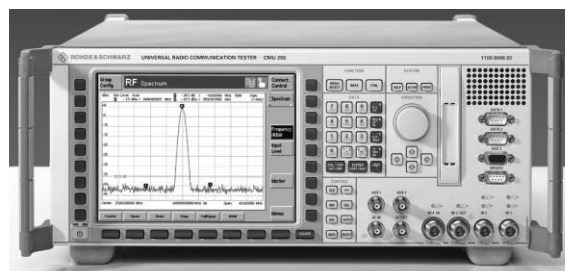



写真9 基地局シミュレータ(無線機テスタ)の一例
携帯電話への呼接続，送受信パワー，RXQUAL，ビット・エラー・レート，スペクトラム・マスクなど各パラメータの測定が可能．

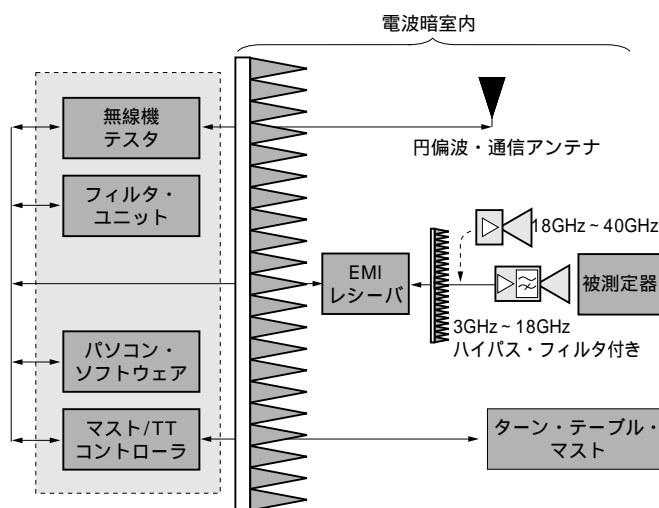



図19　携帯電話のEMIの試験環境例
無線機テスタに接続されている通信用アンテナにて，携帯電話と疑似基地局である無線機テスタとの通信を確立した状態にする．

▶ EMS規格

ETSI 301 489 -xにおいて，EMSに関する測定は次の規格があります．

- EN 50081-2：共通イミュニティ規格
- EN 61000-4-3：放射イミュニティ・テスト
- EN 61000-4-6：伝導イミュニティ・テスト
- EN 61000-4-2：静電気テスト
- EN 61000-4-4：ファースト・トランジェント/バースト・テスト（基地局だけ）
- EN 61000-4-5：サージ・テスト
- EN 55024：情報処理装置
- ISO 7637-1&-2：トランジェントおよびサージ・テスト（車載機だけ）

図20　携帯電話測定におけるノッチ・フィルタ
放射測定時に，通信の確立に用いる電波は測定対象とするノイズの信号レベルに比べるとはるかに大きいレベルである．ノイズを測定しようと受信系の感度を上げると，この強いレベルが飽和の原因となってしまう．これを防止して小さい信号を測定するために，レシーバの入力の前にこの図のような特性を持つノッチ・フィルタを用いる．

これらイミュニティ測定では，携帯電話が通話状態において妨害を与えたときに，ディジタルの受信感度パラメータや，音声がどれだけひずむかを評価します．

オーディオのイミュニティ測定には，**写真10**のような治具を用いて，プラスチックのチューブを介して携帯電話のスピーカから音声をマイクで拾い，妨害が与えられている間の音声品質をオーディオ・アナライザにて評価します．**図21**はこの測定の概略図です．

● 情報処理装置（ITE機器）のEMC規格（日本国内向け製品）

日本国内向けのITE機器には，主に次の自主規制によるテストがなされています．

▶ EMI規格

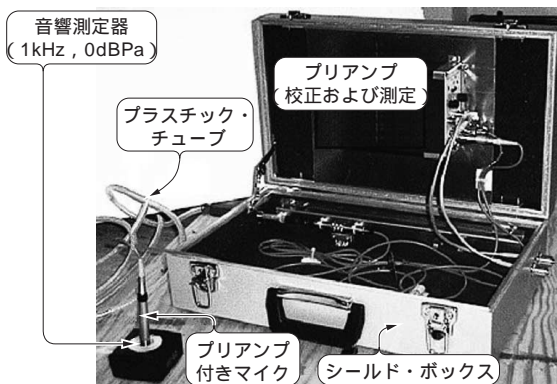
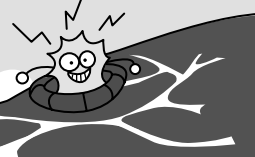
情報処理装置等電波障害自主規制協議会（VCCI）の会員企業が，日本国内への出荷の前に自主的に妨害波の規制を実施します．この妨害波の測定法や限度値は，この協議会がCISPR22に準拠して定めた「技術基準」にのっとります．

測定はVCCI基準が満たされ，試験所の登録（設備登録申請）がなされた試験所で行います．製品のテストの流れを，メーカとVCCIとの関係で示したものが**図22**です．

▶ EMS規格

電子情報技術産業協会（JEITA）の前身である日本電子工業振興協会（JEIDA）の規格JEIDA-52「情報処理装置およびシステムのイミュニティ・テスト」により，製造業者に

写真10　オーディオ測定治具の例

図21　携帯電話のEMSの試験環境例
ETSI-301-489，GSM携帯の場合．

よる自主的なテストがなされています．

● 情報処理装置のEMC規格（欧州向け製品）

欧州域内へ出荷するITE機器は，EN規格を満足しなければなりません．情報処理装置については，次のEN規格が適用されます．（括弧内は対応国際規格）

▶ EMI規格

- EN 55022（CISPR 22：情報処理装置の無線妨害特性の許容値および測定法）
- EN 61000-3-2（IEC 61000-3-2：高調波電流エミッションの限度値・機器入力電流16A以下）
- EN 61000-3-3（IEC 61000-3-3：定格電流が16Aまでの装置に使用する低電圧配電システムの電圧変動とフリッカの限度値）

▶ EMS規格

- EN 55024（CISPR 24：情報処理装置のイミュニティ特性の許容値および測定法）

● 情報処理装置のEMC規格（米国向け製品）

米国にて規制の対象となるのは，FCCの制定した規格で，これはEMIに関するものです．EMS測定は製造者が任意にANSI C63.15を参照しています．

▶ EMI規格

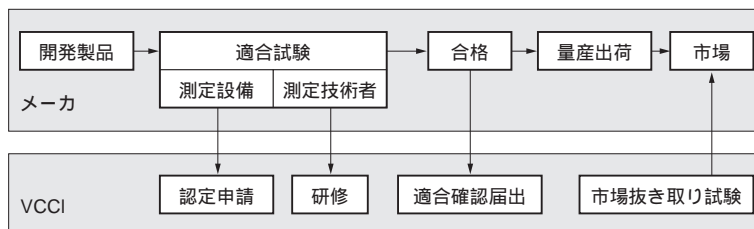
米国向けのITE機器は，FCC Part 15 Subpart B（EMIだけ）の規制にて測定・評価を行います．このSubpart Bは，「非意図的放射器」という，受信機やディジタル機器などのように，意図せずに電波が出てしまう機器を対象としています．

▶ EMS規格

EMS規格については，FCCの強制規格とはならないため，製造者はANSI C63.15を社内規格に，あるいは欧州市場向けの共通規格としています．

＊　＊　＊

EMCの対策や測定は一見地味な作業に思えますが，出荷製品の品質を守る重要な業務です．特に，電波の利用なくして成り立たない今日の生活において，EMCの問題は社会基盤の安定に直結していると言っても過言ではありません．この高邁（こうまい）な業務に携わっている方々のご活躍を祈念し，結びとさせていただきます．

図22[5]
情報処理装置におけるEMC規格のテストの流れ
メーカとVCCIとの関係を示した．

COLUMN
EMIテスト・レシーバとスペクトラム・アナライザとの違い

EMIテスト・レシーバは妨害波の測定を充実させるために，スペクトラム・アナライザには見られない機能がいくつかあります．それらの主な機能を紹介します．

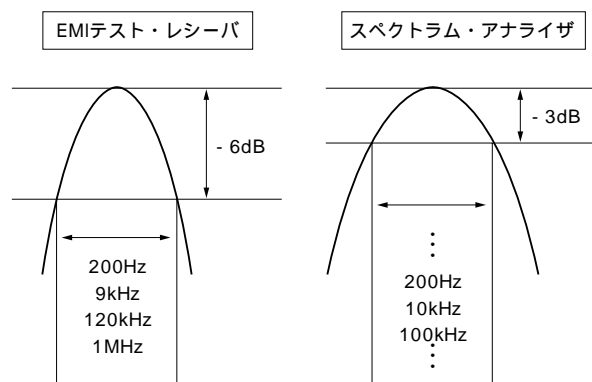
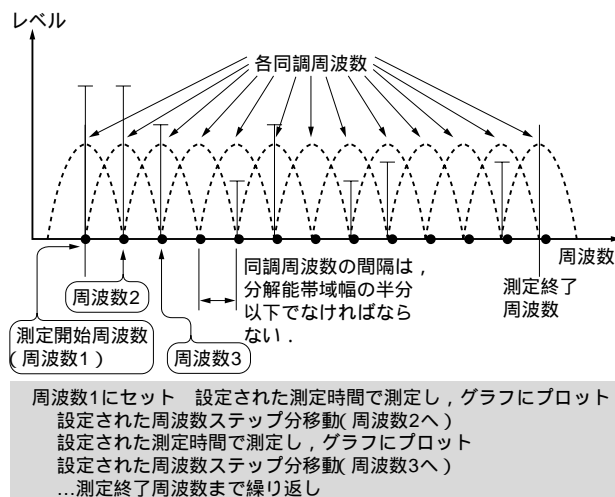
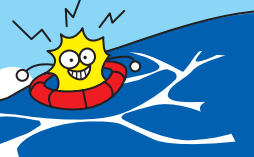
● 帯域制限フィルタ（プリセレクタ）

広帯域にスペクトルが林立している場合，広範囲のスペクトル成分のエネルギーがミキサに印加されます．ひずみや混変調が生じやすくなり，存在しないはず（入力していないはず）のスペクトルが，画面に出てしまうことがあります．このため，同調周波数以外のスペクトル成分の影響をミキサに入力する前に除去する必要があります．通常，EMIテスト・レシーバには，信号入力部に十数個のバンドパス・フィルタがあり，同調周波数以外のスペクトルの影響を低減しています．

スペクトラム・アナライザには，このようなフィルタは基本的にありませんが，CISPR16-1-1に準拠した150kHzのハイパス・フィルタが販売されています．主に伝導ノイズ測定時に懸念される130kHz～150kHzにおける強いスペクトルの影響を低減できます．

● 分解能帯域幅（RBW：resolution bandwidth）

例えば正弦波をスペクトラム・アナライザで測定する際，分解能帯域幅を変えても表示レベルに変化はありません．パルス状のノイズは，分解能帯域幅を変えると表示レベルが変化してしまう特性があります．このため，測定に際しては，あらかじめ用いる帯域幅を決めておかなければなりません．スペクトラム・アナライザは，通常，同調周波数を中心として3dBレベルが下がる周波数幅のIFフィルタを分解能帯域幅として用いています．

EMIテスト・レシーバでは，6dBレベルが下がる周波数幅のIF

図A　EMIテスト・レシーバとスペクトラム・アナライザの分解能帯域幅の比較

図B　EMIテスト・レシーバの周波数スキャンの概略

参考・引用*文献

(1) 飯塚幸三監修；世界の規格便覧 第1巻（国際編），2005年3月，日本規格協会.
(2) 世界のEMC規格・規制 2006年度版，日本能率協会.
(3) 飯塚幸三監修；世界の規格便覧 第3巻（日本・中国・アジア・オセアニア編），2005年12月，日本規格協会.
(4) JISハンドブック 電磁両立性（EMC）2006，日本規格協会.
(5)* 世界のEMC規格・規制 2007年度版，日本能率協会.
(6) 飯塚幸三監修；世界の規格便覧 第2巻（欧州・ロシア・アフリカ編），2005年9月，日本規格協会.
(7) 電子情報通信学会編；電子情報通信ハンドブック，1999年9月，オーム社.
(8) 電気学会編；情報通信機器のノイズ・イミュニティ，2002年6月，コロナ社.
(9) 飯塚幸三監修；世界の規格便覧 第4巻（米国・カナダ・中南米編），2005年12月，日本規格協会.
(10) 実践！役に立つ初歩のEMC，月刊EMC No.226，2007年2月号，ミマツコーポレーション.
(11) 末武国弘，杉浦 行監修；図解EMC用語早わかり，1999年11月，オーム社.
(12)* EMC規制の現状と今後の展望，月刊EMC No.210，2005年10月号，ミマツコーポレーション.
(13) 世界の製品安全認証早分かり2005年度版，コスモス・コーポレイション.
(14)* 情報処理装置等電波障害自主規制協議会付則1技術基準V-3/2006.04 技-25.
http://www.vcci.or.jp/member/kiyaku/kiyaku03_0604.pdf
(15)* EMCソリューション アンテナ・アクセサリ，東陽テクニカ.
http://www.toyo.co.jp/emc/a_mac600.htmlより
(16)* EMCソリューション EMCシステム，東陽テクニカ.
http://www.toyo.co.jp/emc/emc_EN61000.html
(17) 清水康敬，杉浦 行編著；電磁妨害波の基本と対策，電子情報通

フィルタを用います．図Aは，スペクトラム・アナライザとEMIテスト・レシーバでの分解能帯域幅の比較です．

● 妨害信号レベルの検出

スペクトラム・アナライザは，基本的に正弦波など連続した信号を精度良く測定できますが，パルス・ノイズのような変動の激しい入力信号には向きません．EMIテスト・レシーバは，パルス性の信号を評価するための検波器が搭載されています．

● 周波数掃引方法の違い

スペクトラム・アナライザは，掃引開始周波数から始まり，掃引終了周波数にて終了するまでの時間として，掃引時間(sweep time)を設定します．近年のスペクトラム・アナライザでは，例えば，1回の掃引で数千万ポイントのサンプル・データを取得します．これを最大値(ピーク検波)，平均値(アベレージ検波)，実効値(RMS検波)などの検波処理を行い，最終的に数百～数万ポイントのピクセルとして画面上でつなぎ合わせ，スペクトルとして表示します．

スペクトラム・アナライザは，周波数スペクトルの様子をEMIテスト・レシーバに比べて比較的短時間で観測できます．しかし，表示スペクトルの周波数読み取りの誤差は，一般的に設定スパン(開始周波数から終了周波数までの幅)の1%ほどあります．厳密にスペクトルの周波数を測定したい場合は，スパンを狭めるなどの注意が必要です．

連続掃引のため，画面上の一つのピクセル当たりにおける測定時間やピクセル自体の周波数幅を考慮する際は，さまざまなパラメータが必要となります．

近年のスペクトラム・アナライザは，掃引を開始してから終了するまでの区間にて，数千万ポイントのサンプルを取得します．これらのサンプルは演算処理後に画面に表示されます．このように取得されたサンプルは，画面のピクセルに変換されますが，この変換に際して検波処理が行われています．規定の区間にあるピクセルの最大値をピクセルに表示すればピーク検波となりますし，平均をとればアベレージ検波となります．このようにそれぞれの区間のサンプルを演算し，結果を画面上の1ピクセルとして表示して，このピクセル間をつないでいきます．

近年のスペクトラム・アナライザは，画面上の表示ピクセル数を数百～数万の範囲で変えられます．ピクセルの数を増やしていけば，1ピクセルごとに分離可能な周波数幅を狭められますが，1ピクセル当たりの掃引時間も短くなります．不安定な信号を評価したいときには何回か掃引させてピーク値を保持させたり，掃引時間を長めにとるなどの注意が必要です．

EMIテスト・レシーバは，スペクトラム・アナライザのような連続掃引ではありません．各同調周波数において，設定された測定時間は周波数を固定し，受信レベルの検波結果をプロットします．そして決められたステップ間隔で次の高い周波数に移り，そこでも設定された測定時間は周波数を固定し，受信結果をプロットします．これを測定終了周波数まで続けていきます(図B)．

EMIテスト・レシーバの周波数スキャンは，このように細かいステップの時間を測りながら測定を行います(測定時間，あるいは滞留時間)．このため一つの周波数ポイントに全サンプルのデータを反映させられます．また，測定したい周波数範囲を広げれば，測定する周波数ポイントの数を多くすることができます．

このように，EMIテスト・レシーバは一つ一つの周波数ポイントにおいて全サンプル値を反映できます．しかし，各周波数ポイントにて滞留させる時間が長かったり，分解能帯域幅を狭く設定して測定ポイント数があまりに増えたりすると，トータルとしての測定時間がとても長くなってしまいます．

この問題を解決するために近年のEMIテスト・レシーバでは，FFT技術を応用して数MHzの範囲で一度に測定できます．これによりスピードが向上しました．

1

信学会.

(18) 仁田周一 ほか編；環境電磁ノイズハンドブック，朝倉書店.

(19) 東陽テクニカ・セミナ；IECおよびIECにおけるEMCの紹介，2007年4月，東陽テクニカ.

(20) Application Note R&S IMS Hardware Setup according IEC / EN 61000-4-6(conducted immunity)，ローデ・シュワルツ・ジャパン.

(21) * NSG 435 ESD Simulator カタログ，テセック.
http://www.teseq.com/com/en/products_solutions/emc_conducted_esd/esd_generators.php ? navid=21

(22) EMCソリューション イミュニティ試験器，東陽テクニカ.

(23) IEC 61000-4-2 規格書，日本規格協会.

(24) IEC 61000-4-11 規格書，日本規格協会.

(25) CISPR 16-1-1 second Edition 2006-03，IEC.

(26) JISハンドブック　電磁両立性(EMC)，2006，(財) 日本規格協会.

(27) Code of Federal Regulations -Title 47- Part15 Radio frequency devices, FCC

よしもと・おさむ
ローデ・シュワルツ・ジャパン(株) テクニカル・センター

<筆者プロフィール>

吉本 修．米国NARTE(米国無線・通信技術者協会)認定EMCエンジニア．ローデ・シュワルツ製品の技術サポートを経て，2004年よりEMC計測器を担当.